

02P-1995Z  
34

⑯ BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 3427 127 A1

⑮ Int. Cl. 4:

G 05 B 15/02

G 05 B 19/417

G 05 D 3/12

⑯ Aktenzeichen: P 34 27 127,9  
⑯ Anmeldetag: 23. 7. 84  
⑯ Offenlegungstag: 23. 1. 86

(4)

⑯ Anmelder:

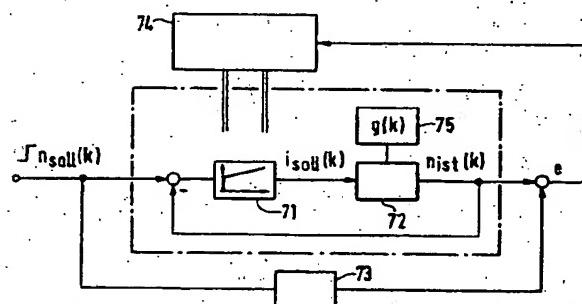
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

⑯ Erfinder:

Gose, Horst; Papiernik, Wolfgang, Dr., 8520  
Erlangen, DE

⑯ Verfahren zur Regleroptimierung für Antriebe

Zur Inbetriebnahme von Regelkreisen (2, 3) bei Vorschubantrieben (5) an Werkzeugmaschinen wird das Rechenpotential der numerischen Werkzeugmaschinensteuerung (1) benutzt. Nach Bestimmung der Streckenparameter werden anhand simulierter Regelkreise (7) die optimalen Regelparameter berechnet.



DE 3427 127 A1

Patentansprüche

1. Verfahren zur Regleroptimierung für Antriebe bei Werkzeugmaschinen oder dergleichen mit Rechnersteuerung, gekennzeichnet durch folgende, mit Hilfe der Rechnersteuerung (1) ausgeführte Schritte:
  - a) es werden der Strecke (6) ein definierter Sollwertverlauf vorgegeben und aus der erfaßten Streckenantwort die Streckenparameter (Tersi, Tmech) bestimmt,
  - b) aus einer gewünschten Zielantwort des geschlossenen Regelkreises werden ein mit den Streckenparametern verträglicher Sollwertverlauf und vorläufige Regelparameter für den Regler (71) berechnet,
  - c) der geschlossene Regelkreis (7) wird mit Hilfe der Strecken- und Regelparameter simuliert und die simulierte Streckenantwort mit der gewünschten Zielantwort beim vorgegebenen Sollwertverlauf verglichen,
  - d) der Vorgang wird unter gezielter Veränderung der Regelparameter solange wiederholt, bis Strecken- und Zielantwort übereinstimmen und
  - e) die so optimierten Regelparameter werden zur Einstellung des Reglers (2) der realen Strecke benutzt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Antwort der realen Regelstrecke anhand der Zielantwort überprüft wird und daß bei vorgegebenen Abweichungen die Regelparameter an der realen Strecke optimiert werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Simulation der Strecke eine aus den Streckenparametern bestimmte Gewichtsfolge benutzt wird.

3427127

- 8 - VPA 84P 3274 DE

4. Verfahren nach Anspruch 1, durch gezeichnet, daß zur Simulation der Strecke eine Differenzengleichung vorgegebener Ordnung benutzt wird.

Siemens Aktiengesellschaft  
Berlin und München

Unser Zeichen

VPA 84 P 3274 DE

### 5 Verfahren zur Regleroptimierung für Antriebe

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Regleroptimierung für Antriebe bei Werkzeugmaschinen mit Rechnersteuerung.

10

Zur Inbetriebsetzung einer numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine gehört die Inbetriebnahme der Regelkreise der einzelnen Servoantriebe (vgl. z.B. DE-PS 23 62 961).

15

Die Optimierung der Regelparameter, wie z.B. Verstärkung und Nachstellzeit, nach bestimmten Einstellvorschriften erfordert qualifiziertes Service-Personal und ist relativ zeitaufwendig. Zudem kann nicht immer vollständig sichergestellt werden, daß auch tatsächlich die optimalen Regelparameter eingestellt sind und damit das Gesamtsystem statisch und dynamisch optimal ausgenutzt wird.

20

Moderne numerische Werkzeugmaschinensteuerungen besitzen ein hohes Rechenpotential, das insbesondere bei der Inbetriebnahmephase brachliegt und deshalb für andere Zwecke frei verfügbar wäre. Es ist daher möglich, die vorhandene Rechenkapazität zur Inbetriebnahme selbst, insbesondere zur automatischen Regleroptimierung einzusetzen.

30

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, ein Verfahren anzugeben, mit dem eine derartige Regleroptimierung selbsttätig möglich ist.

35

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch folgende, mit Hilfe der Rechnersteuerung ausgeführte Schritte gelöst:

- 4 -
- a) es werden der Strecke ein definierter Sollwertverlauf vorgegeben und aus der erfaßten Streckenantwort die Streckenparameter bestimmt,
  - b) aus einer gewünschten Zielantwort des geschlossenen Regelkreises werden ein mit den Streckenparametern verträglicher zugeordneter Sollwertverlauf und vorläufige Regelparameter für den Regler berechnet,
  - c) der geschlossene Regelkreis wird mit Hilfe der Strecken- und Regelparameter simuliert und die simulierte Streckenantwort mit der gewünschten Zielantwort beim vorgegebenen Sollwertverlauf verglichen,
  - d) der Vorgang wird unter gezielter Veränderung der Regelparameter solange wiederholt, bis Strecken und Zielantwort übereinstimmen und
  - e) die so optimierten Regelparameter werden zur Einstellung des Reglers der realen Strecke benutzt.

Die Antwort der realen Regelstrecke auf einen vorgegebenen Sollwertverlauf kann dann anhand der Zielantwort überprüft werden und bei vorgegebenen Abweichungen die Regelstrecke mit Hilfe der realen Strecke weiter optimiert werden. Eine Simulation ist dann nicht mehr erforderlich, da angenommen werden darf, daß die Regelparameter bereits genügend nahe am Optimum liegen, so daß eine Gefährdung der Strecke auszuschließen ist.

Zur Simulation der Strecke wird mit Vorteil die aus der Streckenantwort bestimmte Gewichtsfolge benutzt. Anstelle der Gewichtsfolge könnte auch eine diskrete Differenzengleichung zur Beschreibung der Strecke verwendet werden, die z.B. mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate aus der Streckensprungantwort berechnet wird. Dies hat den Vorteil einer kürzeren Rechenzeit gegenüber der Verwendung der Gewichtsfolge und Faltungssumme, jedoch den Nachteil, daß von vornherein eine Annahme über die Streckenordnung getroffen werden muß,

was in vielen Fällen zu Näherungen führt.

Die vorstehend beschriebenen Vorgänge werden vollautomatisch programmgesteuert durch die Rechnersteuerung 5 ausgeführt, so daß die Inbetriebnahme und Optimierung der Regelkreise völlig automatisch, ohne jeglichen Eingriff von Bedienungspersonal zustande kommt. Dies führt zu einer ganz erheblichen Verkürzung der Inbetriebnahmezeit.

10

Bei der heute üblichen Systemstruktur der kaskadierten Regelung (Lageregelung mit unterlagerter Drehzahl- und Stromregelung) können die einzelnen Regelkreise dann unabhängig voreinander - von innen nach außen - nach 15 den vorstehend beschriebenen Verfahrensschritten optimiert und in Betrieb genommen werden. Das Vorgehen ist dabei im Prinzip für alle Regelschleifen identisch. Ähnliche Prinzipien lassen sich jedoch auch für Regelungen, die nicht mit einzelnen unterlegten Regelkrei- 20 sen aufgebaut sind, anwenden.

Anhand eines in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels, das die Optimierung eines Drehzahlregelkreises beschreibt, sei die Erfindung näher beschrieben;

25 es zeigen:

Figur 1 die Regelstrecke,

Figur 2 die zur Ermittlung der Streckenantwort vorausgesetzte Struktur,

30 Figur 3 die Ermittlung der Streckenparameter aus der Sprungantwort,

Figur 4 eine gewünschte Zielantwort (Zielfunktion) und

Figur 5 die Ermittlung der Regelparameter anhand des simulierten Regelkreises.

35 Wie aus Figur 1 ersichtlich, ist der bekannten Rechnersteuerung 1 der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine

ein Drehzahlregler 2 und ein Stromregler 3 zugeordnet. Der Einfachheit halber ist der auch noch zusätzlich vorhandene Lageregler nicht gezeichnet; er ist im Regelfall digital ausgeführt und Bestandteil der Rechnersteuerung.

5 1. Dies gilt ebenso mit Vorteil für den Drehzahlregler 2, der nur der Übersichtlichkeit halber herausgezeichnet ist. Über die Regler 2 und 3 wird ein den Gleichstrommotor 5 speisender Stromrichter 4 ausgesteuert.

Der Motor 5 treibt z.B. einen Vorschubschlitten der 10 Werkzeugmaschine in einer Koordinatenrichtung an. Durch die Rückführung von Stromistwert  $i_{\text{ist}}$  und Drehzahlistwert  $n_{\text{ist}}$  werden die entsprechenden Regelkreise geschlossen.

15 Die vorstehend geschilderte Struktur ist bei Werkzeugmaschinenantrieben üblich und bekannt.

Es wird nun zunächst die Sprungantwort der Strecke in der Weise aufgenommen, daß die Steuerung 1 einen Sollwertsprung  $i_{\text{soll}}$  auf die tatsächliche Strecke gibt. 20 Die Strecke 6 ist dabei im Ersatzschaltbild nach Figur 2 durch die Ersatzzeitkonstante des Stromregelkreises  $T_{\text{ersi}}$  und die mechanische Zeitkonstante des Antriebes  $T_{\text{mech}}$  charakterisiert.

25

Aus dem sich am Ausgang der Strecke ergebenden Drehzahlistwert  $n_{\text{ist}}$  werden dann in bekannter Weise die physikalischen Streckenparameter gemäß Figur 3 ermittelt.

30 Sei z.B. die in Figur 4 angegebene Zielantwort (Zielfunktion) des geschlossenen Regelkreises gewünscht, so kann mit Hilfe der physikalischen Streckenparameter der zugehörige, physikalisch sinnvolle Sollwert  $v_{\text{rlauf}}$  und eine geeignete Kombination von Reglerparametern berechnet werden. Die Reglerparameter können z.B. mit 35 Hilfe der Doppelverhältnisse bestimmt werden.

- 5 - VPA 84P 3274 DE

Ferner wird nach folgender Beziehung die Gewichtsfolge bestimmt:

$$g(k) = n_{\text{ist}}(k) - n_{\text{ist}}(k-1),$$

wobei  $k$  der Abtastzeitpunkt der Regelung ist.

5 Über die Faltungssumme ergibt sich die Streckensimulation gemäß nachstehender Formel:

$$n_{\text{ist}}(k) = \sum_{v=0}^k i_{\text{soll}}(v) \cdot g(k-v)$$

Die Simulation mit der Faltungssumme erfordert dabei  
10 keine Annahme über den Aufbau der Streckenanordnung und ergibt eine nahezu exakte Nachbildung der Strecke. Außerdem ergeben sich keine ungünstigen mechanischen Belastungen bei nicht optimalen Regelparametern. Eine Simulation ist schneller möglich als in Echtzeit.

15

Mit den vorliegenden Daten kann der Regelkreis simuliert werden, wie in Figur 5 näher dargestellt. Der simulierte Regelkreis 7 besteht dann aus dem simulierten Drehzahlregler 71, dessen Regelparameter, wie z.B. Verstärkung und Nachstellzeit, gezielt veränderbar sind und aus der Streckennachbildung mit Gewichtsfolge 75 und Faltungssumme 72. Anhand des Regelkreises 7 wird überprüft, welcher Drehzahlistwertverlauf sich bei vorgegebenen Drehzahlsollwertverlauf ergibt, wobei der Regelkreis durch die Rückführung des Drehzahlistwertes geschlossen ist. Gleichzeitig wird drehzahlsollwertabhängig die Zielantwort (Zielfunktion) aktiviert, die z.B. in einer Tabelle 73 abgespeichert ist. Wunschantwort und tatsächliche Antwort des Regelkreises werden 20 miteinander verglichen und die Abweichung  $e$  dazu benutzt, um über eine Reglereinstellung 74 die Regelparameter gezielt so zu verändern, daß die Abweichung zwischen simulierten Istwert und gewünschten Istwert möglichst gering wird. Dies kann z.B. dadurch geschhen,  
25 daß ein Algorithmus der Weise gewählt wird, daß die Summe der Absolutbeträge der Abweichungen  $e$  bei nach-

einanderfolgenden Rechnerschritten zu einem Minimum wird.

Derartige Suchstrategien, z.B. Vektorschuchverfahren, sind bekannt.

- 5 Nach jeder Parametervariation wird dann ein erneuter Simulationslauf gestartet. Erscheinen die so ermittelten Regelparameter ausreichend optimal, so werden diese Parameterwerte - wie durch die Linien 11, 12 in Figur 1 angedeutet - in den realen Regelkreis übernommen. Anschließend wird das Verhalten dieses realen Regelkreises mit der Zielantwort verglichen. Falls das Verhalten zufriedenstellend ist, kann hiermit die Optimierung beendet werden.
- 15 Falls das Verhalten der realen Regelstrecke noch nicht zufriedenstellend sein sollte, kann anhand der realen Strecke weiter optimiert werden. Eine Verwendung der realen Strecke ist jetzt möglich, da angenommen werden darf, daß die Regelparameter bereits genügend nahe am Optimum sind, so daß eine Gefährdung der Strecke auszuschließen ist. Anhand der realen Strecke werden dann die Regelparameter gezielt solange verändert, bis ein Optimum erreicht ist.
- Bei Strecken mit sich laufend verändernden Parametern, 25 wie z.B. Robotern, kann mit Hilfe einer Differenzengleichung vorgegebene Ordnung ständig nachoptimiert werden. Hierbei ist die Differenzengleichung fortlaufend den sich ändernden Parametern anzupassen, z.B. unter Benutzung der Methode der kleinsten Quadrate.

30

4 Patentansprüche

5 Figuren

- 9 -  
- Leerseite -

Nummer: 34 27 127  
Int. Cl.4: G 05 B 15/02  
Anmeldetag: 23. Juli 1984  
Offenlegungstag: 23. Januar 1986

84 P 3274 DE

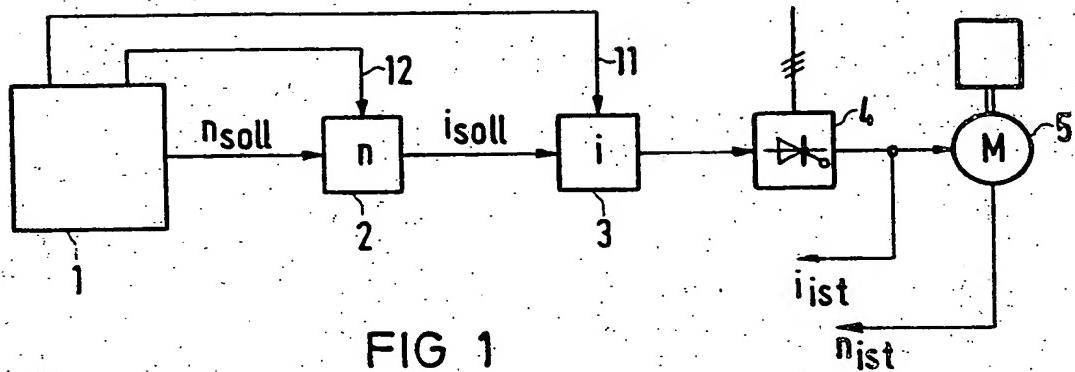


FIG. 1

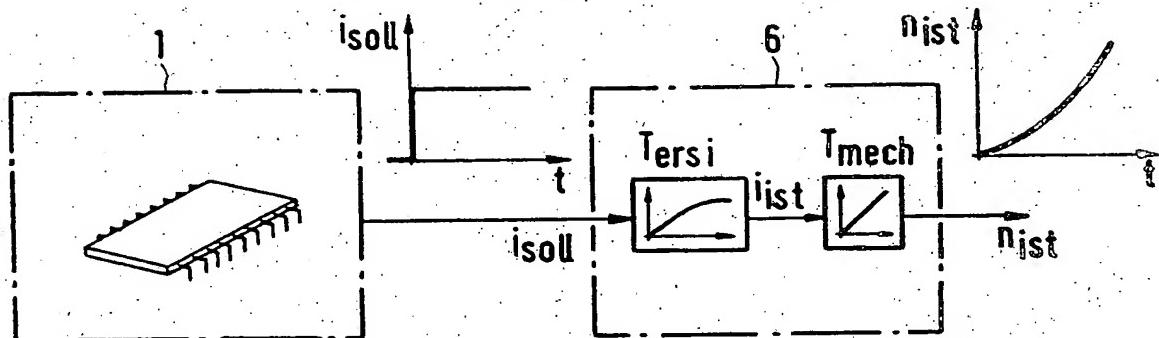


FIG 2

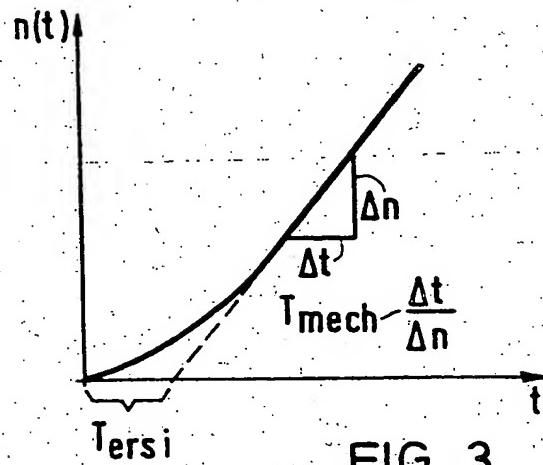


FIG 3

3427127

84P 3274 DE

-10-

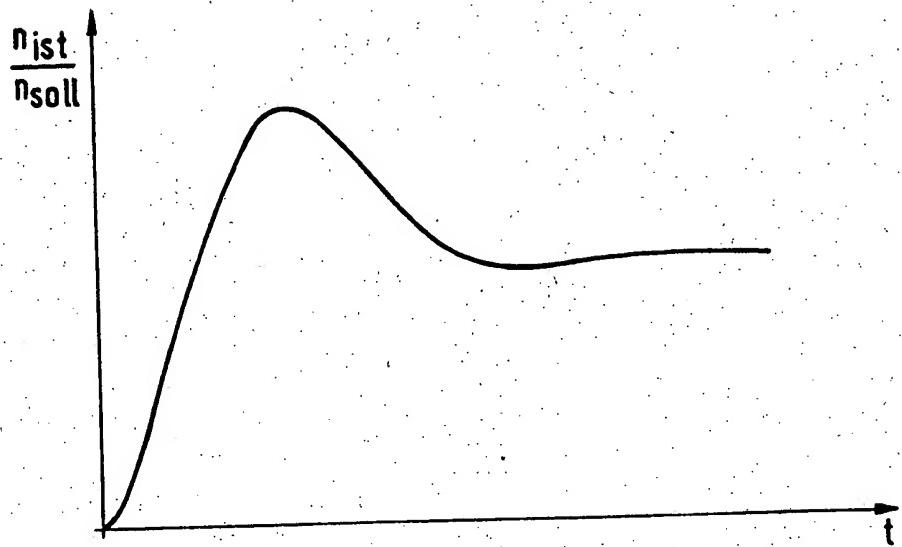


FIG 4

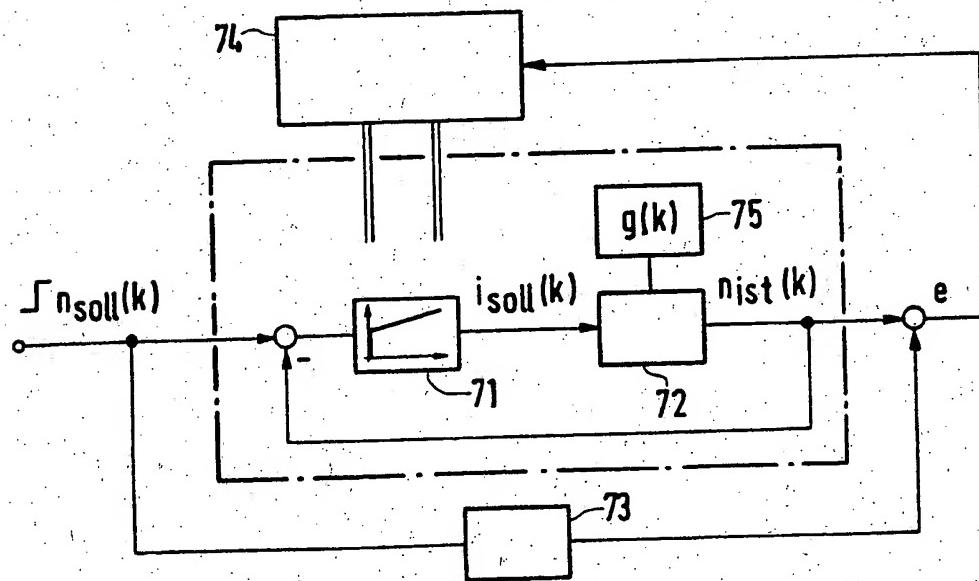


FIG 5